

Повышение эффективности иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар подвижного состава

А.Г. Отока✉, О.В. Холодилов

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

✉otokaa@mail.ru

Резюме

Статья посвящена усовершенствованию технологии ультразвукового иммерсионного контроля цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар грузовых и пассажирских вагонов. В работе проведен сравнительный анализ иммерсионных пьезоэлектрических преобразователей различных производителей на способность выявлять внутренние дефекты в области обода цельнокатаного колеса колесной пары подвижного состава, прилегающей к поверхности ввода ультразвука. Оценка чувствительности иммерсионных преобразователей проводилась по альтернативным эталонным отражателям в настроечном образце в виде цилиндрических отражателей диаметром 5 мм в сечении В–В, Г–Г, Д–Д. В статье представлены дефектограммы выявления эталонных отражателей в настроечном образце с использованием иммерсионных преобразователей П211-2,5-20 и П211-5,0-0-16. Предложен подход разделения обода колеса на несколько зон при ультразвуковом контроле по варианту методов DR2.1, DR2.2 и переход преобразователей от частоты 2,5 МГц на 5,0 в целях уменьшения «мертвой зоны», в которой могут залегать скрытые дефекты. Эксперимент показал, что применение преобразователей с частотой 5 МГц по варианту обозначенных методов при выявлении отражателя в сечении В–В предпочтительнее, поэтому использование П211-5,0-0-16 в целом позволит повысить качество иммерсионного ультразвукового контроля при ремонте колесных пар грузовых и пассажирских вагонов. Однако следует понимать, что плохое качество материалов, применяемых при производстве пьезоэлектрических преобразователей, недостатки, допущенные при их изготовлении, а также появление ложных сигналов в зоне контроля основного сечения обода колеса, мешающих идентификации полезных сигналов, ведет к целесообразности перехода на более низкую частоту – 2,5 МГц.

Ключевые слова

ультразвуковой контроль, иммерсионный ввод ультразвука, пьезоэлектрический преобразователь, цельнокатаное колесо, колесная пара, мертвая зона

Для цитирования

Отока А.Г. Повышение эффективности иммерсионного ультразвукового контроля ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар подвижного состава / А.Г. Отока, О.В. Холодилов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 94–102. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).94-102.

Информация о статье

поступила в редакцию: 29.02.2024 г.; поступила после рецензирования: 12.03.2024 г.; принята к публикации: 14.03.2024 г.

Improving the efficiency of immersion ultrasonic testing of the rims of solid-rolled wheels during scheduled wheel set repairs of rolling stock

A.G. Otoka✉, O.V. Kholodilov

Belarusian State University of Transport, Gomel, the Republic of Belarus

✉otokaa@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the improvement of the technology of ultrasonic immersion testing of solid-rolled wheels during scheduled repairs of wheel sets of freight and passenger wagons. The article presents a comparative analysis of immersion piezoelectric transducers from various manufacturers for their ability to detect internal defects in the area of the rim of a solid-rolled wheel adjacent to the surface of the ultrasound input. The sensitivity of immersion transducers was evaluated using alternative reference reflectors in a tuning sample in the form of cylindrical reflectors with a diameter of 5 mm in cross section B–B, G–G, D–D. The paper presents flaw detection diagrams of reference reflectors in a tuning sample using P211-2.5-20 and P211-5.0-0-16. An approach is proposed to divide the wheel rim into several zones during ultrasonic testing according to the variant of the DR2.1 and DR2.2 methods and the transition of converters from a frequency of 2.5 to 5.0 MHz in order to reduce the «dead zone», in which hidden defects may potentially lie. The experiment showed that the use of converters with a frequency of 5 MHz according to the variant of the DR2.1 and DR2.2 methods when detecting a reflector in the B–B section is preferable. Therefore, the use of P211-5.0-0-16 in general will improve the quality of immersion ultrasonic inspection during the repair of wheelsets of freight and pas-

senger wagons. However, it should be noted that poor quality of materials used in the production of piezoelectric transducers, shortcomings in their manufacture as well as the appearance of false signals in the wheel rim control area, when using a 5,0 MHz piezoelectric converters makes it advisable to switch to a lower frequency of 2,5 MHz.

Keywords

ultrasonic testing, immersion ultrasound input, piezoelectric transducer, solid-rolled wheel, wheelset, dead zone

For citation

Otoka A.G., Kholodilov O.V. Povysheniye effektivnosti immersionnogo ul'trazvukovogo kontrolya obod'ev tsel'nokatanykh koles pri planovykh vidakh remonta kolesnykh par podvizhnogo sostava [Improving the efficiency of immersion ultrasonic testing of the rims of solid-rolled wheels during scheduled wheel set repairs of rolling stock]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 94–102. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).94-102.

Article info

Received: February 29, 2024; Revised: March 12, 2024; Accepted: March 14, 2024.

Введение

При проведении текущего, среднего и капитального ремонта колесных пар выполняют механизированный ультразвуковой контроль (УЗК) колес на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом (методом отраженного излучения) с внутренней боковой поверхности обода.

Основные виды дефектов колес, выявляемых при УЗК, продольные трещины, закаты, плены, расслоения и неметаллические включения в ободе колеса, поперечные трещины на поверхности катания обода колеса, трещины гребня колеса (дефекты номер 511, 513, 517 в соответствии с [1]).

Для контактного ввода ультразвука (УЗ) с внутренней грани колеса применяются углы ввода на 0° (вариант метода DR2.1, DR2.2), 40° (DR3.1), 50° (DR3.3) частотой 2,5 МГц [2].

На Белорусской железной дороге хорошо зарекомендовал себя иммерсионный ввод УЗ, реализуемый на автоматизированном стенде УЗ-дефектоскопии колесных пар СУДКП (СДВК) с использованием иммерсионного преобразователя П211-2,5-20 [3–8]. Угол падения луча таких пре-

образователей устанавливается по горизонтали и вертикали при помощи специального шаблона таким образом, чтобы угол ввода в сталь соответствовал аналогичным углам ввода при контактном способе [4].

В России иммерсионный ввод УЗ хорошо зарекомендовал себя в системе автоматизированного УЗК свободных осей колесных пар при изготовлении и капитальном ремонте САУЗК «Ось-4». (НПП «Промприбор») [9].

Применение иммерсионного способа связано с меньшим изменением чувствительности контроля из-за нестабильности контакта через поверхность материала при контроле контактным способом. При этом обеспечивается высокая скорость сканирования и производительность контроля. Также при иммерсионном вводе УЗ исключается механический износ пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) из-за отсутствия трения между ним и поверхностью контролируемого изделия [10–13].

Целью настоящей работы является усовершенствование технологии иммерсионного УЗК ободьев цельнокатаных колес при плановых видах ремонта колесных пар.

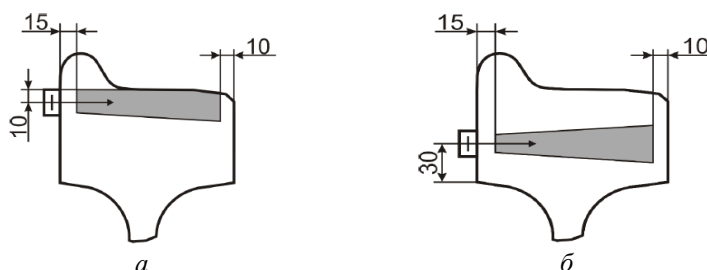


Рис. 1. Схема ультразвукового контроля обода колеса с углом ввода 0° ;
a – вариант метода DR2.1; *б* – вариант метода DR2.2

Fig. 1. Wheel rim ultrasonic testing scheme with an input angle of 0° ;
a – is a variant of the DR2.1 method; *b* – is a variant of the DR2.2 method

Задачи, которые авторы поставили перед собой, заключались в следующем:

1. Проведение сравнительной оценки чувствительности иммерсионных УЗ ПЭП различных по исполнению и частоте на предмет выявления альтернативных отражателей по варианту методов DR2.1 и DR2.2 с использованием угла ввода в сталь 0° (рис. 1).

2. Изучение возможности исключения пропуска дефектов в «мертвой зоне» (неконтролируемые зоны, прилегающие к поверхности объекта контроля [14]) в сечении В–В путем деления ширины обода колеса на несколько зон контроля.

На практике установлено, что при использовании прямых преобразователей П111-2,5 и П211-2,5 при проверке браковочной чувствительности УЗК по альтернативным эталонным отражателям в сечении В–В (рис. 2) по варианту методов DR2.1 и DR2.2 зачастую сигнал от цилиндрического бокового искусственного отражателя (ЦБО) в виде отверстия диаметром 5 мм в настроечном образце (НО) трудно различить на фоне слияния с зондирующим (для контактного) и с отраженным импульсами от внутренней грани обода колеса (для иммерсионного) [15].

Технические средства и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо было провести регистрацию эхо-сигналов от цилиндрических отражателей диаметром 5 мм в настроечном образце (сформированная колесная пара с отражателями в ободке цельнокатаного колеса) и сравнить полученные

результаты. Особое внимание при УЗК уделялось выявлению отражателя, располагающегося в гребне колеса (сечение В–В). Использование цилиндрического отверстия в качестве отражателя является очень удобным на практике и наиболее простым для настройки параметров УЗК [16, 17].

В работе использовались УЗ-дефектоскоп УД2-102ВД «Пеленг» в составе стенда СУДКП, в качестве ПЭП П211-2,5-20 (угол ввода $\alpha = 0^\circ$, частота $f = 2,5$ МГц) и П211-5,0-0-16 (угол ввода $\alpha = 0^\circ$, частота $f = 5,0$ МГц).

Рассмотрим иммерсионный ввод УЗ в сталь по варианту методов DR2.1 и DR2.2 преобразователями с $f = 2,5–5,0$ МГц различных производителей, отличающихся по исполнению.

Учитывая конкуренцию между фирмами-изготовителями ПЭП, авторы сознательно не приводят их названия в статье.

Каждый ПЭП (рис. 3) устанавливался на расстоянии 50 мм от внутреннего торца обода при помощи измерительной линейки, юстировка проводилась с помощью настроечного шаблона ШН-1 [18].

Чувствительность контроля в работе определялась способностью нахождения отражателей на определенной глубине при заданной настройке дефектоскопа и меньших значениях его общего усиления, а также наличием или отсутствием мешающих эхо-сигналов, в массиве которых может находиться полезный сигнал.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе эксперимента было установлено, что чувствительность П211-2,5-20 с пластиковым корпусом низкая к выявлению эталонного

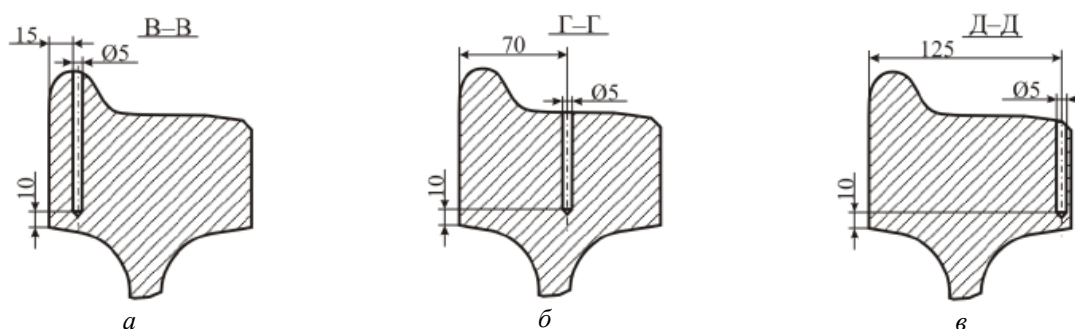


Рис. 2. Альтернативные цилиндрические боковые отражатели диаметром 5 мм в настроечном образце с различной глубиной от поверхности ввода ультразвука: *a* – 17,5 мм; *b* – 70 мм; *c* – 125 мм

Fig. 2. Alternative cylindrical side reflectors with a diameter of 5 mm in the tuning sample with different depths of the ultrasound input from the surface *a* – 17,5 мм; *b* – 70 мм; *c* – 125 мм

отражателя в сечении В–В (рис. 4). Сигнал от отверстия диаметром 5 мм на расстоянии 17,5 мм лежит в «мертвой зоне» и практически сливается с отраженным сигналом от внутренней грани обода колеса. При этом все остальные отражатели НО в сечении Г–Г и Д–Д выявляются при общем высоком усилении дефектоскопа, что приводит к появлению шумов в зоне контроля.

На рис. 5 показано, что чувствительность П211-2,5-20 с медным корпусом значительно выше по сравнению с П211-2,5-20 из пластика к выявлению эталонных отражателей в сечении В–В, Г–Г, Д–Д (общее усиление дефектоскопа меньше \approx в 2,1 раза). Однако сигнал от отверстия диаметром 5 мм на расстоянии 17,5 мм все также близко располагается к отраженному сигналу от внутренней грани обода колеса и на

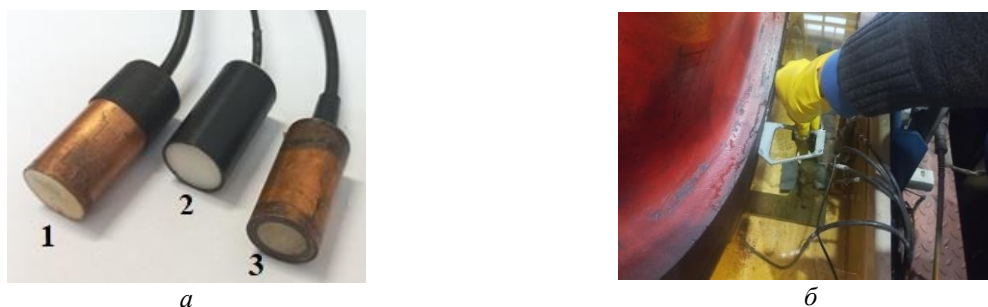


Рис. 3. Общий вид пьезоэлектрических преобразователей и технологии выставления угла ввода ультразвука в сталь при выявлении отражателей настроечного образца в виде цельнокатаного колеса колесной пары:

a – пьезоэлектрические преобразователи различные по частоте и исполнению (1 – П211-2,5-20, корпус из медного сплава; 2 – П211-2,5-20, корпус из пластмассы; 3 – П211-5,0-0-16, корпус из медного сплава); *б* – выставление угла ориентации пьезоэлектрических преобразователей при помощи настроечного шаблона ШН-1

Fig. 3. General view of the piezoelectric converters and technology for setting the angle of insertion of the ultrasonic into steel when detecting reflectors of tuning sample in the form of a solid-rolled wheel of a wheelset:

a – piezoelectric converters are different in frequency and design (1 – P211-2,5-20, copper alloy housing; 2 – P211-2,5-20, plastic housing; 3 – P211-5,0-0-16, copper alloy housing); *b* – setting the orientation angle of the piezoelectric converters using the tuning template SHN-1

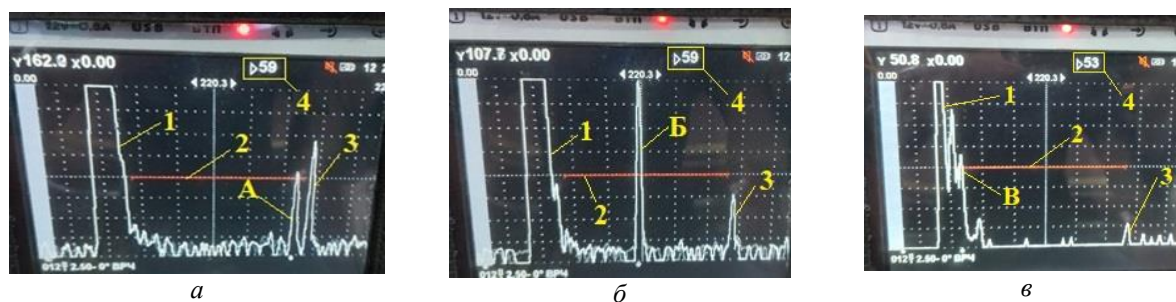


Рис. 4. Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в настроечном образце П211-2,5-20 (диаметр 22 мм, длина 38 мм, материал корпуса – пластмасса):

a – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *б* – на расстоянии 70 мм; *в* – на расстоянии 17,5 мм (1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; А – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); Б – сигнал от отверстия (сечение Г–Г); В – сигнал от отверстия (сечение В–В))

Fig. 4. Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in the tuning sample P211-2,5-20 (diameter 22 mm, length 38 mm, box material – plastic)

a – a hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *b* – at a distance of 70 mm; *c* – at a distance of 17,5 mm (1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – a zone of temporary selection; 3 – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the general gain of the flaw detector; А – the signal from the hole (section D–D); В – the signal from the hole (section G–G); С – the signal from the hole (section C–C))

практике идентифицировать полезный сигнал все же проблематично в условиях автоматизированного контроля.

В соответствии с [19] допускается применять для контроля обода колеса методом DR2.1, DR2.2 прямые ПЭП с частотой 5,0 МГц.

Рассмотрим, как изменится в целом чувствительность контроля обода колеса при использовании П211-5,0-0-16. В работе чувствительность контроля определялась способностью нахождения отражателей на определенной глубине при заданной настройке дефектоскопа

и меньших значениях его общего усиления, а также наличием или отсутствием мешающих эхо-сигналов, в массиве которых может находиться полезный сигнал.

Видно (рис. 6), что чувствительность П211-5,0-0-16 высокая в случае выявления отражателей в сечении В–В, Г–Г, Д–Д. Общее усиление дефектоскопа выше \approx в 1,7 раза, чем у аналогичного ПЭП с медным корпусом частотой 2,5 МГц и ниже \approx в 1,3 раза в сравнении с ПЭП, корпус которого выполнен из пластмассы. При этом на экране дефектоскопа отсут-

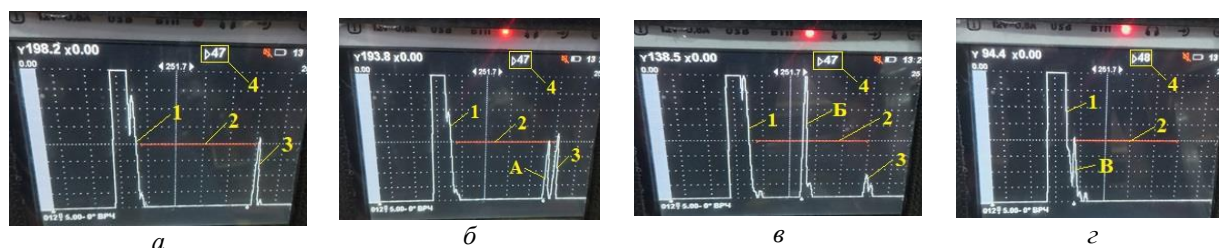


Рис. 6. Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в настроечном образце П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

- a* – бездефектная зона; *б* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *в* – на расстоянии 70 мм; *г* – на расстоянии 17,5 мм (1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; А – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); В – сигнал от отверстия (сечение В–В))

Fig. 6. Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in the tuning sample P211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper):

- a* – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *c* – at a distance of 70 mm; *d* – at a distance of 17,5 mm (1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – the zone of temporary selection; 3 – the signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the general gain of the flaw detector; А – the signal from the hole (section D–D); В – the signal from the hole (section G–G); С – the signal from the hole (section C–C))

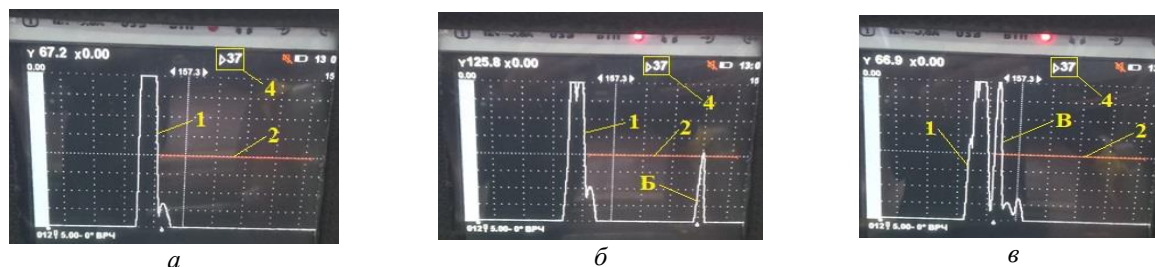


Рис. 7. Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в сечении настроечного образца Г–Г и Д–Д (зона № 1 – от 15 до 80 мм) П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

- a* – бездефектная зона; *б* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 70 мм; *в* – на расстоянии 17,5 мм (1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; Б – сигнал от отверстия (сечение Г–Г); В – сигнал от отверстия (сечение В–В))

Fig. 7. Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in section of the tuning sample G–G and D–D (zone No 1 – from 15 to 80 mm) P211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper)

- a* – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 70 mm; *c* – at a distance of 17,5 mm (1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – a zone of temporary selection; 3 – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the total gain of the flaw detector; В – the signal from the hole (section G–G); В – signal from the hole (section B–B))

ствуют ложные сигналы в виде помех и фиксируется постоянный донный сигнал от внешней стороны обода колеса в отличие от П211-2,5-20 из медного и пластикового корпусов.

Сигнал от отверстия в сечении В–В НО уверенный, но все также остается трудноотделимым от отраженного сигнала внутренней грани обода колеса. Связано это прежде всего с длительностью развертки дефектоскопа, которую невозможно расширить исходя из зоны контроля колеса (ширины обода) в 130 мм.

Поэтому на практике, в целях недопущения пропуска дефектов, в прилегающей части отраженного сигнала от внутренней грани обода колеса целесообразно разделять УЗК на две зоны: зона № 1 – от 15 до 80 мм (браковочный уровень по сечению Г–Г), зона № 2 – от 60 до 130 мм (браковочный уровень по сечению Д–Д). При этом выявление эталонного отражателя в сечении Г–Г будет дублироваться в двух зонах, что, в свою очередь, повышает подтверждаемость дефектов, развивающихся на расстоянии 70 мм от внутренней грани обода колеса.

Результаты такого варианта разделения зон обода колеса при контроле с использованием П211-5,0-0-16 приведены на рис. 7.

С учетом настройки браковочной чувствительности по отражателю в сечении Г–Г, что видно по общему усилению дефектоскопа, а также увеличению длительности развертки на рис. 7 отчетливо видно сигнал от отверстия в

сечении В–В.

По рис. 8 понятно, что с учетом настройки браковочной чувствительности по отражателю в сечении Д–Д общее усиление дефектоскопа выросло на 10 дБ.

Заключение

Сравнение исследуемых ПЭП показало, что их чувствительность зависит от материала и характеристик пьезоэлемента (в частности, электрической добротности, управлять которой можно на стадии изготовления за счет изменения конструктивных особенностей ПЭП). Установлено, что по значениям общего усиления дефектоскопа ПЭП П211-2,5-20 (корпус из пластмассы) значительно уступает (в 2,1 раза) в сравнении с П211-2,5-20 (корпус из медного сплава).

Выявление эталонного отражателя в сечении Д–Д НО при использовании ПЭП П211-2,5-20 (корпус из пластмассы) происходит при общем усилении дефектоскопа 59 дБ, в то время как с использованием П211-2,5-20 (корпус из медного сплава) – 28 дБ.

Переход преобразователей по варианту методов DR2.1 и DR2.2 с частоты 2,5 на 5,0 МГц способствует уменьшению «мертвой зоны». При этом чувствительность контроля при выявлении отражателей в сечениях Г–Г и Д–Д остается высокой без появления в зоне контроля ложных сигналов и шумов.

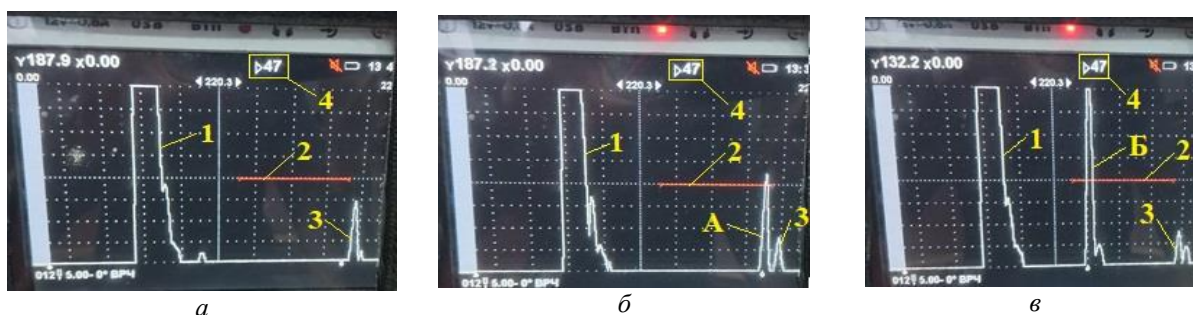


Рис. 8. Дефектограммы выявления цилиндрических боковых отражателей в сечении настроечного образца Г–Г и Д–Д (зона № 2 – от 60 до 130 мм) П211-5,0-0-16 (диаметр 22 мм, длина 39 мм, материал корпуса – медь):

a – бездефектная зона; *b* – отверстие диаметром 5 мм на расстоянии 125 мм; *c* – на расстоянии 70 мм
(1 – сигнал, отраженный от ближней боковой поверхности обода; 2 – зона временной селекции; 3 – сигнал, отраженный от дальней боковой поверхности обода («донный»); 4 – общее усиление дефектоскопа; А – сигнал от отверстия (сечение Д–Д); Б – сигнал от отверстия (сечение Г–Г))

Fig. 8. Defect grams of the detection of cylindrical side reflectors in section of the tuning sample Г–Г and Д–Д (zone No 2 – from 60 to 130 mm) P 211-5,0-0-16 (diameter 22 mm, length 39 mm, box material – copper):
a – defect-free zone; *b* – hole with a diameter of 5 mm at a distance of 125 mm; *c* – at a distance of 70 mm
(1 – a signal reflected from the near side surface of the rim; 2 – a zone of temporary selection; 3 – a signal reflected from the far side surface of the rim («bottom»); 4 – the total gain of the flaw detector)
А – the signal from the hole (section Д–Д); Б – signal from the hole (section Г–Г))

Предложенный нами подход разделения обода колеса на две зоны контроля оправдывает себя на практике и способствует уверенному выявлению дефектов, лежащих в «мертвой зоне» колеса на расстоянии от внутренней грани обода колеса 15 мм и выше.

В случае появления ложных сигналов в зоне № 2 (от 60 до 130 мм) при использовании

ПЭП с частотой 5,0 МГц целесообразнее переходить на более низкую частоту – 2,5 МГц.

Проведенные исследования показали, что использование ПЭП частотой П211-5,0-0-16 по варианту методов DR2.1 и DR2.2 предпочтительнее и в целом приводит к повышению качества УЗК колесных пар вагонов и, как следствие, повышает безопасность движения поездов.

Список литературы

1. РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар вагонов с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм) : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств - участников Содружества от 19–20 окт. 2017 г. № 67. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
2. ТИ НК В.21-1.2019. Технологическая инструкция по неразрушающему контролю деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Ультразвуковой метод. М. : НИИ мостов, 2019. 179 с.
3. Отока А.Г., Холодилов О.В. Влияние температуры контактной среды на иммерсионный ультразвуковой контроль колесных пар вагонов при ремонте // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 24–33.
4. 1803.829-00.00.003 ТИ. Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю ободьев цельнокатаных колес дефектоскопом УД2-102 «Пеленг» на стенде СДВК 1803.829-00.00.000 : утв. распоряжением Белорус. железн. дороги от 20.12.2018 № 1094НЗ.
5. Пат. 6017 Респ. Беларусь. Стенд для ультразвуковых испытаний колесных пар рельсового подвижного состава / А.В. Дубина, И.С. Бычек, И.С. Комаровский. № а 20000607 ; заявл. 26.06.2000 ; опубл. 30.03.2004.
6. Дубина А.В., Чаевский В.П. Контроль вагонных колес с иммерсионным вводом ультразвука // Вагоны и вагонное хозяйство. 2023. № 1. С. 29–30.
7. Бычек И.С., Дубина А.В. Контроль колес на стенде с иммерсионным вводом ультразвука // Вагоны и вагонное хозяйство. 2010. № 2. С. 35.
8. Отока А.Г. Опыт использования стендов ультразвуковой дефектоскопии СУДКП (СДВК) на Белорусской железной дороге // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 12 (141) : сетев. изд. URL : <https://web.snauka.ru/issues/2022/12/99310> (Дата обращения 28.02.2024).
9. Слязин А.М., Кривоногова А.С. Автоматизированный ультразвуковой контроль железнодорожных осей // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Екатеринбург, 2019. С. 139–145.
10. Неразрушающий контроль : справочник. Т. 3. Ультразвуковой контроль. М. : Машиностроение, 2004. 864 с.
11. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М. : Машиностроение, 1981. 240 с.
12. Пасси Г.С. Сравнение способов оценки акустического контакта // Дефектоскопия. 1988. №4. С. 71–78.
13. Базулин Е.Г., Рухайло Н.В. Определение профиля поверхности объекта контроля при автоматизированном неразрушающем ультразвуковом контроле в иммерсионном режиме и восстановление изображений дефектов методом SAFT // Дефектоскопия. 2012. № 8. С. 16–29.
14. СТО ФПК 1.11.001-2011. Система неразрушающего контроля в ОАО «ФПК». Элементы колесных пар пассажирских вагонов колеи 1520 мм. Требования к ультразвуковому контролю : утв. распоряжением ОАО «ФПК» от 20.07.2011 № 613р.
15. Отока А.Г., Логунов В.Г., Холодилов О.В. Чувствительность контактного и иммерсионного способов ультразвукового контроля при выявлении эталонных отражателей в настроенном образце // Неразрушающий контроль и диагностика. 2023. № 1. С. 30–36.
16. Киреев А.Н., Витренко В.А. Применение функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 6. С. 377–382.
17. Могильнер Л.Ю. Применение цилиндрического отражателя для настройки чувствительности при ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. 2018. № 7. С. 27–36.
18. МА БЧ 47.135-2016. Стенд для ультразвуковой дефектоскопии ободьев и дисков колесных пар вагонов. Методика аттестации : утв. приказом Белорусской железной дороги от 04.10.2016 № 896НЗ.
19. ПР НК В.2. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 19–20 нояб. 2013 г. № 59. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.

References

1. RD VNIIZhT 27.05.01-2017. Rukovodyashchii dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par vagonov s buksovymi uzlamy gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznykh dorog kolei 1520 (1524 mm): utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv - uchastnikov Sodruzhestva (Protokol ot 19–20 oktyabrya 2017 g. N 67. V red., utv. na 78-m zasedanii Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva) [RD VNIIZHT 27.05.01-2017. Guidance document on the repair and maintenance of wheel sets of wagons with axle boxes of freight wagons of mainline

railways of gauge 1520 (1524 mm): approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States (Protocol No 67 dated October 19–20, 2017. As amended, approved at the 78th meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States)].

2. TI NK V.21-1.2019. Tekhnologicheskaya instruktsiya po nerazrushayushchemu kontrolyu detalei i sostavnykh chastei kole-snykh par vagonov pri remonte. Ul'trazvukovoi metod [TI NK V.21-1.2019. Technological instructions for non-destructive testing of parts and components of wheel sets of wagons during repair. Ultrasonic method]. Moscow: NII mostov Publ., 2019. 179 p.

3. Otoka A.G., Kholodilov O.V. Vliyanie temperatury kontaktnoi sredy na immersionnyi ul'trazvukovoi kontrol' kolesnykh par vagonov pri remonte [Influence of the temperature of the contact medium on the immersion ultrasonic control of wheel pairs of wagons during repair]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Trans-Siberian Railway], 2023, no. 3 (55), pp. 24–33.

4. 1803.829-00.00.003 TI. Tekhnologicheskaya instruktsiya po ul'trazvukovomu kontrolyu obod'ev tsel'notkatanykh koles defektoskopom UD2-102 «Peleng» na stende SDVK 1803.829-00.00.000: utv. rasporyazheniem Belorusskoi zheleznoi dorogi ot 20.12.2018 № 1094NZ [1803.829-00.00.003 TI. Technological instructions for ultrasonic inspection of the rims of solid-rolled wheels flaw-pom UD2-102 «Bearing» at the SDVK stand 1803.829-00.00.000: approved by the order of the Belarusian Railway dated December 20, 2018 no 1094NZ].

5. Dubina A.V., Bychek I.S., Komarovskii I.S. Patent BY 6017 C1, 30.03.2004.

6. Dubina A.V., Chaevskii V.P. Kontrol' vagonnykh koles s immersionnym vvodom ul'trazvuka [Control of wagon wheels with immersion insertion of ultrasound]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo* [Wagons and wagon facilities], 2023, no. 1, pp. 29–30.

7. Bychek I.S., Dubina A.V. Kontrol' koles na stende s immersionnym vvodom ul'trazvuka [Wheel control on a stand with immersion ultrasound input]. *Vagony i vagonnoe khozyaistvo* [Wagons and wagon facilities], 2010, no. 2, pp. 35.

8. Otoka A.G. Opyt ispol'zovaniya stendov ul'trazvukovoi defektoskopii SUDKP (SDVK) na Belorusskoi zheleznoi doroge [The experience of using ultrasonic flaw detection stands of the SDKP (SDVK) on the Belarusian railway]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovations], 2022, no. 12 (141). Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2022/12/99310> (Accessed February 28, 2024).

9. Slyazin A.M., Krivonogova A.S. Avtomatizirovannyi ul'trazvukovoi kontrol' zheleznodorozhnykh osei [Automated ultrasonic control of railway axles]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Tekhnicheskoe regulirovanie v edinom ekonomicheskom prostranstve»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and practical conference with international participation «Technical regulation in the single economic space»]. Ekaterinburg, 2019, pp. 139–145.

10. Nerazrushayushchii kontrol': spravochnik v 8 t. T. 3. Ul'trazvukovoi kontrol' [Non-destructive testing: handbook in 8 volumes. Vol. 3. Ultrasonic control]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p.

11. Ermolov I.N. Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya [Theory and practice of ultrasonic control]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 240 p.

12. Passi G.S. Sravnenie sposobov otsenki akusticheskogo kontakta [Comparison of acoustic contact assessment methods]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 1988, no. 4, pp. 71–78.

13. Bazulin E.G., Rukhailo N.V. Opredelenie profilya poverkhnosti ob'ekta kontrolya pri avtomatizirovannom nerazrushayushchem ul'trazvukovom kontrole v immersionnom rezhime i vosstanovlenie izobrazhenii defektov metodom SAFT [Determination of the surface profile of the object of control during automated non-destructive ultrasonic inspection in immersion mode and restoration of defect images by the SAFT method]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 2012, no. 8, pp. 16–29.

14. STO FPK 1.11.001-2011. Sistema nerazrushayushchego kontrolya v OAO «FPK». Elementy kolesnykh par passazhir-skiikh vagonov kolei 1520 mm. Trebovaniya k ul'trazvukovomu kontrolyu: utv. rasporyazheniem OAO «FPK» ot 20.07.2011 № 613r [STO FPC 1.11.001-2011. The nondestructive testing system at JSC «FPC». Elements of wheel sets of passenger wagons of 1520 mm gauge. Requirements for ultrasound control: approved by the order of JSC «FPC» dated July 20, 2011 no 613r].

15. Otoka A.G., Logunov V.G., Kholodilov O.V. Chuvstvitel'nost' kontaktnogo i immersionnogo sposobov ul'trazvukovogo kontrolya pri vyyavlenii etalonnykh otrazhatelei v nastroechnom obratse [Sensitivity of contact and immersion methods of ultrasonic testing when detecting reference reflectors in a tuning sample]. *Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika* [Non-destructive testing and diagnostics], 2023, no. 1, pp. 30–36.

16. Kireev A.N., Vitrenko V.A. Primenenie funktsii vremennoi regulirovki chuvstvitel'nosti pri nastroiike uslovnoi chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo kontrolya detalei podvizhnogo sostava zheleznykh dorog ekho-impul'snym metodom [Application of the function of temporary sensitivity adjustment when setting the conditional sensitivity of ultrasonic inspection of railway rolling stock parts by the echo pulse method]. *Vestnik VNIIZhT* [Bulletin of the All-Russian Scientific and Research Institute of Railway transport], 2017, vol. 76, no. 6, pp. 377–382.

17. Mogil'ner L.Yu. Primenenie tsilindricheskogo otrazhatelya dlya nastroiike chuvstvitel'nosti pri ul'trazvukovom kontrole [The use of a cylindrical reflector for sensitivity adjustment during ultrasonic testing]. *Defektoskopiya* [Flaw detection], 2018, no. 7, pp. 27–36.

18. MA BCh 47.135-2016. Stend dlya ul'trazvukovoi defektoskopii obod'ev i diskov kolesnykh par vagonov. Metodika at-testatsii: utv. prikazom Belorusskoi zheleznoi dorogi ot 04.10.2016 No 896NZ (MA BCH 47.135-2016. A stand for ultrasonic flaw detection of rims and discs of wheel pairs of wagons. Certification methodology: approved by the order of the Belarusian Railway dated October 4, 2016 no 896NZ).

19. PR NK V.2. Pravila nerazrushayushchego kontrolya detalei i sostavnykh chastei kolesnykh par vagonov pri remonte. Spetsial'nye trebovaniya (utverzhdeny Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 19–20 noyabrya 2013 g. №59. S izm., utv. na 77-m zasedanii Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva) [PR NK V.2. Rules of non-destructive testing of parts and assemblies of wheel sets of wagons during repair. Special requirements (approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States, Protocol no 59 dated November 19–20, 2013. With amendments approved at the 77th meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States)].

Информация об авторах

Отока Александр Генрикович, аспирант кафедры вагонов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: otokaa@mail.ru.

Холодилов Олег Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вагонов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: olhol@tut.by.

Information about the authors

Alexander G. Otoka, Ph.D. Student of the Department of Wagons, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: otokaa@mail.ru.

Oleg V. Kholodilov, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Wagons, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: olhol@tut.by.